

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**Львівський національний університет імені Івана Франка**  
**Факультет прикладної математики та інформатики**  
**Кафедра інформаційних систем**

**Затверджено**

На засіданні  
кафедри інформаційних систем  
факультету прикладної математики та  
інформатики  
Львівського національного університету  
імені Івана Франка

(протокол № 2 від 20.09 2022 р.)



Завідувач кафедри Шинкаренко Г. А.

**Силабус з навчальної дисципліни**  
**“Паралельні алгоритми: побудова та аналіз”,**  
**що викладається в межах ОПП Інформатика**  
**другого (магістерського) рівня вищої освіти для здобувачів з**  
**спеціальності 122 – комп’ютерні науки**

<b>Назва дисципліни</b>	Паралельні алгоритми: побудова та аналіз
<b>Адреса викладання дисципліни</b>	Головний корпус ЛНУ ім. І. Франка м. Львів, вул. Університетська 1
<b>Факультет та кафедра, за якою закріплена дисципліна</b>	Факультет прикладної математики та інформатики Кафедра інформаційних систем
<b>Галузь знань, шифр та назва спеціальності</b>	12 – інформаційні технології 122 – комп'ютерні науки
<b>Викладачі дисципліни</b>	Яджак Михайло Степанович, професор кафедри інформаційних систем, доктор фіз.-мат. наук (лекції та лабораторні заняття)
<b>Контактна інформація викладачів</b>	mykhailo.yadzhak@lnu.edu.ua; yadzhak_ms@ukr.net. Головний корпус ЛНУ ім. І. Франка, каб. м. Львів, вул. Університетська, 1
<b>Консультації з питань навчання по дисципліні відбуваються</b>	Консультації в день проведення лекцій/лабораторних занять (за попередньою домовленістю)
<b>Сторінка курсу</b>	<a href="https://ami.lnu.edu.ua/course/paralelni-alhorytmy-pobudova-ta-analiz">https://ami.lnu.edu.ua/course/paralelni-alhorytmy-pobudova-ta-analiz</a>
<b>Інформація про дисципліну</b>	Дисципліна «Паралельні алгоритми: побудова та аналіз» є вибірковою дисципліною з спеціальності 122 – комп'ютерні науки для освітньої програми Інформатика, яка викладається в 2-му семестрі в обсязі 3,5-х кредитів (за Європейською Кредитно-Трансферною Системою ECTS).
<b>Коротка анотація дисципліни</b>	Навчальну дисципліну розроблено таким чином, щоб ознайомити студентів з основними положеннями теорії паралельних обчислень, необхідними для розробки та дослідження паралельних алгоритмів з використанням сучасних апаратних та програмних засобів. Тому в дисципліні подано як основні методи розпаралелювання обчислень, так і показано їх застосування під час розв'язання конкретних обчислювальних задач. У курсі також розглядаються деякі обчислювальні системи нетрадиційної архітектури (систолічні масиви, квазісистолічні структури, системи зі структурно-процедурною організацією обчислень, нейрокомп'ютери, машини потоків даних).
<b>Мета та цілі дисципліни</b>	Метою вивчення вибіркової дисципліни «Паралельні алгоритми: побудова та аналіз» є одержання студентами знань і навичок, які потрібні для побудови ефективних паралельних алгоритмів розв'язання алгоритмічно складних задач на сучасних обчислювальних засобах – багатоядерних комп'ютерах і кластерах. Завданням вивчення дисципліни є формування у студентів теоретичних знань і практичних навичок для побудови та дослідження паралельних алгоритмів розв'язання алгоритмічно складних задач; навчання студентів здійснювати оптимізацію паралельних алгоритмів за швидкодією, використанням пам'яті та обсягом необхідного обладнання, розробляти паралельні алгоритми, орієнтовані на реалізацію на обчислювальних засобах нетрадиційної архітектури.
<b>Література для</b>	Основна література.

<p><b>вивчення дисципліни</b></p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Аксак Н.Г., Руденко О.Г., Гуржій А.М. Паралельні та розподілені обчислення. – Х.: Компанія СМІТ, 2009. – 480 с.</li> <li>2. Жуков І.А., Курочкін О.В. Паралельні та розподілені обчислення. Навч. посіб. – К.: «Корнійчук», 2005. – 226 с.</li> <li>3. Коцовський В.М. Теорія паралельних обчислень. – Ужгород: ПП «АУТДОР–Шарк», 2021. – 188 с.</li> <li>4. Новотарський М.А., Нестеренко Б.Б. Штучні нейронні мережі: обчислення. – Київ: Інститут математики НАН України, 2004. – 408 с.</li> <li>5. Яджак М. С. Деякі паралельні алгоритми розв’язання задач цифрової фільтрації // Матеріали VIII міжнар. наук.-практ. конф. «Математика в сучасному технічному університеті», Київ, 27–28 грудня 2019 р. – Вінниця: Видавець ФОП Кушнір Ю. В., 2020. – С. 172–176.</li> <li>6. <a href="http://eprints.library.odeku.edu.ua/695/1/RolshchikovVB_Distributed_Systems_Technology_And_Parallel_Computing_Module_1_KL_2018.pdf">http://eprints.library.odeku.edu.ua/695/1/RolshchikovVB_Distributed_Systems_Technology_And_Parallel_Computing_Module_1_KL_2018.pdf</a>.</li> <li>7. Valkovskii V. A. An optimal algorithm for solving the problem of digital filtering //Pattern Recognition and Image Analysis. – 1994. – Vol. 4, N 3. – P. 241–247.</li> </ol> <p>Додаткова література.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Бройнль Томас. Паралельне програмування: початковий курс: навч. посібник. – К.: Вища школа, 1997. – 358 с.</li> <li>2. Вальковський В. О., Яджак М. С. Проблеми подальшого розвитку та модифікації методу пірамід для розпаралелювання циклів // Математичні методи та фізико-механічні поля.– 2000. – Т. 43, № 1. – С. 68–75.</li> <li>3. Качко О.Г. Паралельне програмування.– Харків: ХНУРЕ, 2016.– 403 с.</li> <li>4. Яджак М. С., Тютюнник М. І., Бекас Б. О. Апаратні засоби реалізації паралельно-конверсних алгоритмів цифрової фільтрації з використанням адаптивного згладжування // Науковий вісник НЛТУ України. – 2014. – Вип. 24.6. – С. 335–344.</li> <li>5. Toub S. Patterns of Parallel Programming. – Microsoft Corporation, 2010. – 118 p.</li> </ol>
<p><b>Обсяг курсу</b></p>	<p>Загальний обсяг: 90 годин. Аудиторних занять: 48 год., з них 16 год. лекцій та 32 години лабораторних занять. Самостійної роботи: 42 год.</p>
<p><b>Очікувані результати навчання</b></p>	<p>Після завершення цього курсу студент буде :</p> <p>знати:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- основні поняття теорії паралельних алгоритмів;</li> <li>- особливості комунікаційного середовища паралельної обчислювальної системи;</li> <li>- основні методи синтезу паралельних алгоритмів;</li> <li>- паралельні алгоритми для розв’язання задач цифрової фільтрації, що використовують синхронну та асинхронну схеми обчислень;</li> <li>- паралельні алгоритми для розв’язання алгоритмічно складних задач лінійної алгебри;</li> <li>- систолічні алгоритми фільтрації даних;</li> <li>- деякі паралельні алгоритми опрацювання зображень;</li> <li>- паралельні обчислювальні системи нетрадиційної архітектури (систолічні, квазісистолічні, зі структурно-процедурною організацією обчислень, потоків даних, нейромереві);</li> </ul> <p>вміти:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- знаходити середній ступінь паралелізму числового алгоритму;</li> <li>- будувати алгоритми з обмеженим паралелізмом та автономними гілками;</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>- будувати і оцінювати систолічні та квазісистолічні алгоритми обчислень;</li> <li>- знаходити прискорення та ефективність паралельного алгоритму;</li> <li>- порівнювати паралельні алгоритми за швидкістю;</li> <li>- оптимізувати систолічні масиви.</li> </ul> <p>Курс забезпечує набуття таких компетентностей: ІК, ЗК 1, ЗК 2, ЗК 5, СК 1, СК 3, СК 6, СК 7 та програмних результатів навчання: ПРН 1, ПРН 7 – ПРН 11, ПРН 16, ПРН 17, ПРН 21.</p>
<b>Ключові слова</b>	Паралельний алгоритм, прискорення обчислень, конвеєризація, систолічні масиви, квазісистолічні системи, ефективність паралельного алгоритму, нейронні мережі, обмежений паралелізм, цифрова фільтрація даних.
<b>Формат курсу</b>	Очний, дистанційний. Проведення лекцій, лабораторних занять і консультацій.
<b>Теми</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Вступ до курсу.</li> <li>2. Особливості комунікаційного середовища паралельної обчислювальної системи.</li> <li>3. Підходи до розпаралелювання послідовних алгоритмів і програм.</li> <li>4. Деякі загальні методи синтезу паралельних алгоритмів.</li> <li>5. Паралельні алгоритми розв'язання алгоритмічно складних задач.</li> <li>6. Паралельні алгоритми розв'язання одновимірної задачі цифрової фільтрації даних. Прискорення обчислень.</li> <li>7. Паралельні обчислювальні системи нетрадиційної архітектури.</li> <li>8. Систолічні алгоритми. Прискорення та ефективність.</li> <li>9. Паралельні алгоритми опрацювання зображень.</li> </ol>
<b>Підсумковий контроль, форма</b>	Залік у кінці другого семестру.
<b>Пререквізити</b>	Для вивчення дисципліни студенти потребують базових знань з курсів «Методи комп'ютерних обчислень», «Програмування», «Теорія алгоритмів», «Дискретна математика».
<b>Навчальні методи та техніки, які будуть використовуватися під час викладання курсу</b>	Презентації, лекції, модульний контроль. Індивідуальні завдання.
<b>Необхідне обладнання</b>	Багатоядерний комп'ютер із програмним забезпеченням Visual Studio 2017/2019.
<b>Критерії оцінювання (окремо для кожного виду навчальної діяльності)</b>	<p>Оцінювання проводиться за 100-бальною шкалою.</p> <p>Оцінювання знань студентів проводиться протягом семестру за такими видами робіт:</p> <p>індивідуальні завдання (20 % семестрової оцінки, максимальна кількість балів 20);</p> <p>контрольні роботи (50 % семестрової оцінки, максимальна кількість балів 50);</p> <p>опитування на практичних заняттях (30 % семестрової оцінки, максимальна кількість балів 30).</p>

	<p>Загалом протягом семестру 100 балів.</p> <p><b>Письмові роботи:</b> Очікується, що студенти виконають чотири письмові роботи (два індивідуальні завдання та дві контрольні роботи).</p> <p><b>Академічна доброчесність:</b> Очікується, що роботи студентів будуть їх оригінальними дослідженнями чи міркуваннями. Відсутність посилань на використані джерела, фабрикування джерел, списування, втручання в роботу інших студентів становлять, але не обмежують, приклади можливої академічної недоброчесності. Виявлення ознак академічної недоброчесності в письмовій роботі студента є підставою для її незарахування викладачем, незалежно від масштабів плагіату чи обману.</p> <p><b>Відвідання занять</b> є важливою складовою навчання. Очікується, що всі студенти відвідають усі лекції та практичні заняття курсу. Студенти повинні інформувати викладача про неможливість відвідати заняття. У будь-якому випадку студенти зобов'язані дотримуватися термінів, визначених для виконання всіх видів письмових робіт та індивідуальних завдань, передбачених курсом.</p> <p><b>Література.</b> Уся література, яку студенти не зможуть знайти самостійно, буде надана викладачем виключно в освітніх цілях без права її передачі третім особам. Студенти заохочуються до використання також й іншої літератури та джерел, яких немає серед рекомендованих.</p> <p><b>Політика виставлення балів.</b> Враховуються бали набрані при поточному тестуванні, самостійній роботі та бали підсумкового тестування. При цьому обов'язково враховуються присутність на заняттях та активність студента під час практичного заняття; недопустимість пропусків та запізнь на заняття; користування мобільним телефоном, планшетом чи іншими мобільними пристроями під час заняття в цілях, не пов'язаних з навчанням; списування та плагіат; несвоєчасне виконання поставленого завдання і т. ін.</p> <p>Жодні форми порушення академічної доброчесності не толеруються.</p>
<p><b>Питання до заліку чи екзамену.</b></p>	<p>Поняття паралельного алгоритму.</p> <p>Автономні та зв'язані гілки паралельного алгоритму.</p> <p>Синхронна та асинхронна схеми обчислень.</p> <p>Ступінь паралелізму алгоритму.</p> <p>Прискорення та ефективність паралельного алгоритму.</p> <p>Комунікаційне середовище паралельної обчислювальної системи.</p> <p>Автоматичне та автоматизоване розпаралелювання.</p> <p>Поняття дрібнозернистого та крупнозернистого алгоритмів.</p> <p>Сильнозв'язані та слабозв'язані задачі.</p> <p>Систолічні обчислювальні системи.</p> <p>Квазісистолічні обчислювальні системи.</p> <p>Обчислювальні машини потоку даних.</p> <p>Системи зі структурно-процедурною організацією обчислень.</p> <p>Нейронні мережі.</p> <p>Систолічні алгоритми.</p> <p>Розпаралелювання матрично-векторного добутку та матричного множення.</p> <p>Розпаралелювання методів розв'язування СЛАР.</p> <p>Розпаралелювання методу Ейлера для розв'язання задачі Коші.</p> <p>Алгоритми цифрової фільтрації з обмеженим паралелізмом. Оцінка прискорення.</p> <p>Алгоритми цифрової фільтрації з автономними гілками. Оцінка прискорення обчислень.</p> <p>Паралельні алгоритми опрацювання зображень.</p>

	Паралельні алгоритми та апаратні засоби їх реалізації. Паралельні алгоритми та забезпечення режиму реального часу під час розв'язування алгоритмічно складних задач.
<b>Опитування</b>	Анкету-оцінку з метою оцінювання якості курсу буде надано по завершенню курсу.

### Схема курсу

Тиж-день	Тема, план, короткі тези	Форма діяльності (заняття)	Література. Ресурси в інтернеті	Години	Термін виконання
1	<b>Тема 1. Вступ до курсу</b> (Поняття паралельного алгоритму. Автономні та зв'язані гілки паралельного алгоритму. Синхронна та асинхронна схеми обчислень. Оцінювання ступеня паралелізму алгоритму. Прискорення та ефективність паралельного алгоритму).	Лекція, самостійна робота	[1–7]	2 5	2 тижні
	<b>Тема 1. Зачеплення конвеєрів операцій та паралельно-конвеєрне опрацювання інформації</b> (Конвеєризація. Прискорення конвеєризованих обчислень).	Лаб.	[1–7]	2	1 тиждень
2	<b>Тема 2. Зачеплення конвеєрів операцій та паралельно-конвеєрне опрацювання інформації</b> (Паралельна робота конвеєрів. Оцінка прискорення обчислень).	Лаб.	[1–7]	2	1 тиждень
3	<b>Тема 2. Особливості комунікаційного середовища паралельної обчислювальної системи</b> (Вплив на ефективну реалізацію паралельного алгоритму. Широкомасштабні та локальні комунікаційні мережі. Швидкі та повільні обміни між вузлами мережі. Мережі з фіксованою топологією та реконфігуровні мережі. Регулярні і нерегулярні мережі).	Лекція, самостійна робота	[1–7]	2 5	2 тижні
	<b>Тема 3. Паралельні алгоритми розв'язання одновимірної задачі цифрової фільтрації</b> (Синхронна та асинхронна схеми обчислень).	Лаб.	[1–7]	2	1 тиждень
4	<b>Тема 4. Розв'язання одновимірної задачі цифрової фільтрації з використанням методу гіперплощин для розпаралелювання циклів</b> (Ідея методу гіперплощин. Обмеження на оператори тіла циклу. Приклади застосування методу).	Лаб.	[1–7]	2	1 тиждень
5	<b>Тема 3. Підходи до розпаралелювання послідовних алгоритмів і про-</b>	Лекція, самостійна	[1–7]	2 5	2 тижні

	грам (Автоматичне та автоматизоване розпаралелювання. Основні етапи розпаралелювання ациклічних і циклічних ділянок програм та алгоритмів).	робота			
	<b>Тема 5. Розв'язання одновимірної задачі цифрової фільтрації з використанням методу гіперплощин для розпаралелювання циклів</b> (Застосування методу до розв'язання задачі фільтрації. Оцінка складності та прискорення паралельних алгоритмів).	Лаб.	[1–7]	2	1 тиждень
6	<b>Тема 6. Метод пірамід для розпаралелювання циклів, його недоліки та можливості модифікації</b> (Суть методу, деякі способи усунення недоліків).	Лаб.	[1–7]	2	1 тиждень
7	<b>Тема 4. Деякі загальні методи синтезу паралельних алгоритмів</b> (Поняття дрібнозернистого та крупнозернистого алгоритмів. Сильнозв'язані та слабозв'язані задачі).	Лекція, самостійна робота	[1–7]	2 5	2 тижні
	<b>Контрольна робота.</b>	Лаб.	–	2	
8	<b>Тема 7. Розв'язання одновимірної задачі фільтрації з використанням методу пірамід для розпаралелювання циклів</b> (Оцінка складності та прискорення паралельних алгоритмів).	Лаб.	[1–7]	2	1 тиждень
9	<b>Тема 5. Паралельні алгоритми розв'язання алгоритмічно складних задач</b> (Розпаралелювання матрично-векторного добутку та матричного множення. Розпаралелювання ітераційного методу Якобі та методу виключення Гаусса для розв'язання СЛАР. Розпаралелювання методу Ейлера для розв'язання задачі Коші).	Лекція, самостійна робота	[1–7]	2 5	2 тижні
	<b>Тема 8. Розв'язання одновимірної задачі фільтрації з використанням методу пірамід для розпаралелювання циклів</b> (Алгоритми з обмеженим паралелізмом. Оцінка прискорення).	Лаб.	[1–7]	2	1 тиждень
10	<b>Тема 9. Розпаралелювання циклічних ділянок алгоритмів або програм: модифікації методу пірамід</b> (Організація обмінів між гілками).	Лаб.	[1–7]	2	1 тиждень
11	<b>Тема 6. Паралельні обчислювальні системи нетрадиційної архітектури</b> (Систолічні обчислювальні системи. Квазісистолічні обчислювальні системи та їх застосування).	Лекція, самостійна робота	[1–7]	2 5	2 тижні
	<b>Тема 10. Розпаралелювання циклічних ділянок алгоритмів або програм: модифікації методу пірамід</b> (Конвеєрний запуск «обрізаних» пірамід).	Лаб.	[1–7]	2	1 тиждень

12	<b>Тема 11. Паралельні алгоритми розв'язання двовимірної задачі цифрової фільтрації</b> (Синхронна та асинхронна схеми обчислень).	Лаб.	[1–7]	2	1 тиждень
13	<b>Тема 7. Паралельні обчислювальні системи нетрадиційної архітектури</b> (Нейромережеві обчислювальні системи. Обчислювальні машини потоку даних. Асоціативні обчислювальні машини. Системи зі структурно-процедурною організацією обчислень).	Лекція, самостійна робота	[1–7]	2 6	2 тижні
	<b>Тема 12. Паралельні алгоритми розв'язання двовимірної задачі цифрової фільтрації</b> (Алгоритми з автономними гілками. Обмежений паралелізм).	Лаб.	[1–7]	2	1 тиждень
14	<b>Тема 13. Систолічні алгоритми обчислень та їх оцінювання</b> (Прискорення та ефективність алгоритмів).	Лаб.	[1–7]	2	1 тиждень
15	<b>Тема 8. Двовимірна задача цифрової фільтрації та опрацювання зображень.</b>	Лекція, самостійна робота	[1–7]	2 6	2 тижні
	<b>Контрольна робота.</b>	Лаб.	–	2	
16	<b>Залік.</b>	Лаб.	–	2	